

那須町森林組合における皆伐作業の採算性の検討

Examining the profitability of clear cutting operations in Nasu Forest Owners' Co-operative, Tochigi prefecture

水庭 誼子¹⁾・上村 僚¹⁾・有賀 一広¹⁾・仲畑 力¹⁾

Yoshiko MIZUNIWA¹⁾, Ryo UEMURA¹⁾, Kazuhiro ARUGA¹⁾, Chikara NAKAHATA¹⁾

¹⁾ 宇都宮大学農学部森林科学科 〒 321-8505 宇都宮市峰町 350
Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University,
350 Mine, Utsunomiya, 321-8505, Japan

要 旨

本研究では、那須町森林組合で行われた皆伐作業の時間観測調査を行い、既往の間伐作業との生産性およびコストの比較を行った。その結果、皆伐作業により生産性が向上し、コストが低減することが示された。皆伐作業については、中傾斜地よりも緩傾斜地の生産性が高く、コストは低かった。チェーンソー伐倒では伐倒した材の幹折れを防ぎ、木寄せ作業をスムーズに行うために、切株の切り下げが行われた。グラップルについては地拵え作業の一環として枝条整理が行われた。胸高直径 40cm 程度以上の材についてはチェーンソーによる造材作業を行っており、今後、材の径級が大きくなることで、造材作業の生産性の低下が予想された。直送を行うため、フォワーダ搬出作業では重量で取引を行うパルプ材以外の末口径が計測された。また、直送を加味した場合のコストについても試算し、2 者協定の可能性を検討した。その結果、直送を広く進めることにより、2 者協定で必要となる 1,000 円 /m³ 以上のコスト削減を達成することができることが分かった。最後に、15 年目までの再造林費用も試算したが、中傾斜地、緩傾斜地ともに収支はプラスとなり、持続的な林業経営が可能であることが確認された。

キーワード：皆伐作業、採算性、生産性、コスト、再造林

ABSTRACT

This study investigated clear cutting operations conducted by Nasu Forest Owner's Co-operative, and compared productivities and costs of clear cutting operations with those of thinning operations. As a result, productivities and costs of clear cutting operations were increased and decreased compared with those of thinning operations. Productivities and costs of clear cutting operations on a gentle slope terrain were higher and lower than those on a middle slope terrain. Chainsaw felling operations included stump cut down because of preventing felled tree break down and conducting grapple-loader bunching operations efficiently. Grapple-loader bunching operations included clearing operations of tops and branches. Trees with DBH more than 40 cm were bucked by a chainsaw. In the future, productivities of processing operations would be reduced because of the increased number of trees with more than 40-cm DBH. Forwarding operations included measurement on small end diameters of woods excluding pulp woods sold by weights because of direct transportation to a sawmill. Costs with direct transportation were estimated and feasibility of bi-contracts was examined. As a result, costs with direct transportation were reduced by more than 1,000 yen/m³ which were necessary for bi-contracts. Finally, economic balances for 15 years after clear cutting operations were estimated. As a result, both middle and gentle slopes were profitable. Therefore, sustainable forestry management would be conducted in these areas.

Keywords: Clear cutting, Profitability, Productivity, Cost, Reforestation

1. はじめに

現在、全国的に日本の齢級構成はⅨ～Ⅻ齢級に偏在し、間伐の推進と長伐期施業が進められている一方で、安定した木材および森林バイオマスの供給には、齢級構成の均衡がとれた森林資源の造成を図る必要がある¹⁵⁾。また、栃木県北地域内の大型製材工場 6 社においては、現在製材できる最大末口径が 36 ～ 40cm であることから、伐期を長期化して大径材の生産を行っても需要がないことも考えられる²²⁾。

那須町森林組合では、同地域における大径材の需要が少ないことから、皆伐後の造林費用を確保し、持続的な資源循環を促進させることを目的とし、製材所が搬出材積あたり 1,000 円 /m³ を上乗せして材を購入し、補助金で補えない下刈り費用に充てる森林所有者、森林組合、製材所で結ぶ 3 者協定や、直送により不要となる運搬費や共販所の市場手数料および桟積料といったコスト削減から 1,000 円 /m³ を同じく下刈り費用に充てる協定を森林組合と森林所有者で結ぶ 2 者協定の取り組みが行われている²²⁾。2 者および 3 者協定のような皆伐推進の取組を行うことで、林野庁の目指す 50 年後、100 年後のバランスのとれた齢級構成を達成する後押しになるのではないかと考えられる。

島根県では皆伐作業の生産性を把握するとともに¹⁾、2012 年度から「循環型林業に向けた原木生産促進事業」を導入し、スギ、ヒノキ、マツおよび人工林広葉樹の皆伐作業に対して 500 円 /m³ の助成が行われている⁹⁾。埼玉県では皆伐後必要となる造林・下刈りに要する経費のうち国庫補助金の補助残相当を助成する取組が行われている¹⁶⁾。栃木県においても皆伐作業の生産性やコス

トを把握するとともに²⁰⁾、補助率が 100% である少花粉スギを用いた造林も行われている。さらに、森林組合など林業事業体、製材業者、工務店・住宅メーカーといった林業・木材産業の業種間 3 者が協定を結んでグループ化し、民有林を皆伐することで 32 万円 /ha の助成を行う事業を 2014 年度から開始するなど¹⁷⁾、ここ数年で皆伐造林の機運は高まっている。

そこで、本研究では、前報²⁾の調査地に加えて、新たに緩傾斜地で行われた皆伐作業を分析し、これまで利用間伐を中心に素材生産を行ってきた事業体が、皆伐作業のサイクルタイム、生産性、コストの傾向を把握しやすいように、同じ事業体が行った間伐作業と比較検討した。さらに造林費用を含めた採算性についても検討した。

2. 調査概要

調査地とした皆伐作業地は栃木県那須郡那須町の民有林であり、2013 年度に皆伐作業が行われた 39 林班ア 15 小班²⁾および 2010 年度に皆伐作業が行われた 54 林班キ 15 小班である(写真-1, 2, 図-1, 2, 表-1)。平均林地傾斜は 39 林班ア 15 小班が 28 度であるのに対し、54 林班キ 15 小班は 6 度であることから、それぞれを以下、中傾斜地、緩傾斜地とする。中傾斜地、緩傾斜地の樹種はどちらもスギであり、中傾斜地が林齢 58 年、緩傾斜地が 50 年であることから、平均胸高直径と平均樹高のどちらも中傾斜地が大きい。立木密度が緩傾斜地の方が高いものの、材積および蓄積は中傾斜地の方が大きい値となっている(表-1)。また、中傾斜地については団地化された 39 林班ア 15 小班の一部で



写真-1 中傾斜地の作業前(左)と作業後(右)



写真-2 緩傾斜地の作業前(左)と作業後(右)

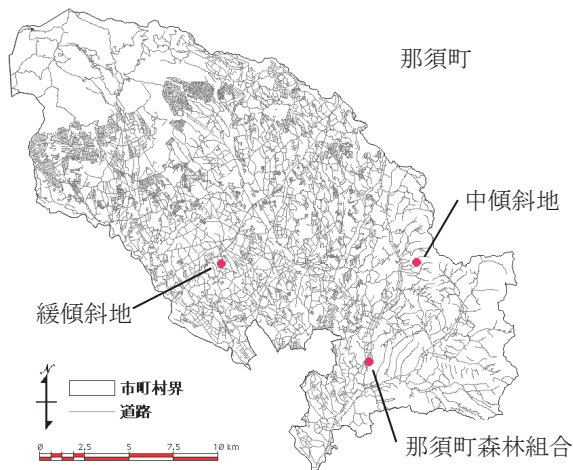


図-1 調査地の位置

表-1 調査地の概要

	中傾斜地	緩傾斜地
施業年度	2013 年度	2010 年度
小班名	39 林班ア 15 小班	54 林班キ 15 小班
樹種	スギ	スギ
林齢(年)	58	50
小班面積(ha)	1.23	1.45
平均林地傾斜(度)	27.85	6.00
路網密度(m/ha)	482.08	272.37
平均胸高直径(cm)	33	28
平均樹高(m)	24.9	22.1
平均幹材積(m³/本)	1.00	0.71
立木密度(本/ha)	800	900
蓄積(m³/ha)	797.06	641.19
作業面積(ha)	0.77	1.45
作業地路網密度(m/ha)	769.31	272.37
伐採木平均胸高直径(cm)	30	28
伐採木平均樹高(m)	22.7	22.1
伐採木平均幹材積(m³/本)	0.89	0.71
平均歩留まり	0.90	0.74
平均素材材積(m³/本)	0.80	0.53
伐採木立木密度(本/ha)	800	900
伐採材積(m³/ha)	711.18	641.19
出材量(m³/ha)	638.65	472.56

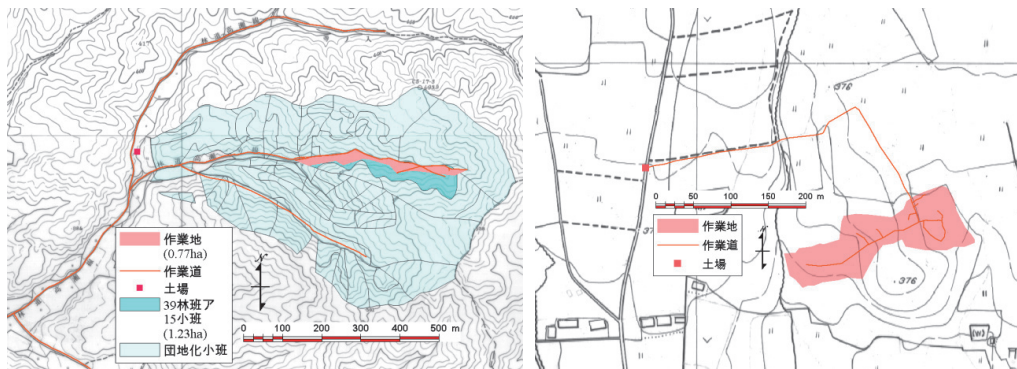


図-2 中傾斜地(左)と緩傾斜地(右)

皆伐作業が行われた。

作業は中傾斜地、緩傾斜地ともチェーンソー(Husqvarna 製 550XP G)による伐倒、グラップルローダ(ベースマシン:日立建機製 ZAXIS 135US, グラップルヘッド:イワフジ製 GS-90LJV)による木寄せ、プロセッサ(ベースマシン:日立建機製 ZAXIS 135US, プロセッサヘッド:イワフジ製 GP-35A)による造材、フォワーダ(イワフジ製 U-4SBG)による搬出であり、これらの作業に関して時間観測を行った。また、作業道作設に関しては、中傾斜地の同団地内の間伐地にてグラップル付バケット(ベースマシン:日立建機製 ZAXIS 135US, ヘッド:松本システムエンジニアリング製 MSE-45ZR)により行われた作業を観測した。なお、緩傾斜地では作業道作設は抜根と切株を切り下げた程度で掘削作業は行われなかった。

3. 結果と考察

3.1 サイクルタイム、生産性

中傾斜地では、現地調査を2013年4月2日(2時間34分40秒)、4日(6時間15分26秒)、6日(4時間19分54秒)、8日(4時間48分15秒)の計4日間行い、観測時間の合計は17時間58分15秒であった。チェーンソー、グラップル、プロセッサ、フォワーダの作業についてはそれぞれ2回、グラップル付バケットの作業については1回の時間観測を行った。なお、中傾斜地は作

業道に面しており、木寄せ作業はウインチを使用せず、グラップルのアームが届く範囲(平均樹高24.85mと機体からアームの長さである8.20mを合わせた33.05m以内)で行われた。プロセッサ造材では一般材、杭材、ラミナ材、パルプ材の4種類に大きく分けられ、材長も考慮すると計8種類に分類された(表-2)。一般材の3m材に関しては、柱への加工を目的とした径級13~26cmの材と、節、曲がり等のない径級24~34cmの優良材の2種類に分けて桷積みが行われた。なお、長級3mの一般材と杭材、長級2mのラミナ材とパルプ材に関しては径級の重なる部分があるが、節や曲がりといった材質の違いにより分けられた。

表-2 プロセッサ造材分類

種類	長級(m)	径級(cm)	造材割合(%)
一般材	4.00	22~30	4.64
	3.65	23~37	12.81
	3.00	13~26	19.07
	3.00	24~34	4.86
	小計		41.38
杭材	4.00	11~16	1.48
	3.00	12~21	2.13
	小計		3.61
ラミナ材	2.00	16~41	26.25
パルプ材	2.00	4~40	18.56
残材			10.20

表－3 チェーンソーによる1サイクルあたりの伐倒造材作業時間と占有率(%)

	4月2日	4月6日	合計
選木・足場作り・移動	1'04" (17.1)	42" (17.6)	51" (17.3)
受け口	18" (4.9)	15" (6.4)	17" (5.6)
心切り	6" (1.6)	4" (1.8)	5" (1.7)
追い口	36" (9.7)	23" (9.7)	29" (9.7)
くさび打ち	21" (5.8)	11" (4.6)	16" (5.2)
退避	9" (2.4)	10" (4.1)	9" (3.1)
切り株	12" (3.1)	11" (4.5)	11" (3.7)
伐倒作業	2'45" (44.6)	1'54" (48.7)	2'17" (46.4)
枝払い・玉切	- (-)	16" (7.0)	9" (3.1)
材長計測	- (-)	6" (2.7)	4" (1.2)
造材作業	- (-)	24" (9.7)	13" (4.4)
待機時間	3'26" (55.4)	1'39" (41.7)	2'26" (49.2)
合計	6'11" (100.0)	3'57" (100.0)	4'56" (100.0)
測定サイクル数(本)	25	32	57
平均幹材積(m ³ /本)	1.00	0.88	0.93
伐倒生産性(m ³ /人時)	9.73	14.92	11.83
平均素材材積(m ³ /本)	0.90	0.79	0.83
伐倒生産性(m ³ /人時)	8.73	13.27	10.58
造材生産性(m ³ /人時)	-	4.28	4.28
生産性(m ³ /人時)	8.73	12.07	10.13

表－4 既往の研究^{4, 5)}との林分条件および作業条件の比較

調査地	那須塩原市森林組合				那須町森林組合			
	①	②	③	③	③	④	中傾斜地	緩傾斜地
樹種	ヒノキ	スギ	スギ	ヒノキ	スギ	スギ・ヒノキ	スギ	スギ
林齢(年)	31	48	53	53	53	39～56	58	50
面積(ha)	1.27	0.51	3.09	1.85	1.41	26.74	0.77	1.45
路網密度(m/ha)	809.0	-*		311.0		183.0	769.31	272.37
平均胸高直径(cm)	18	22	32	27	34	28	33	28
平均樹高(m)	16	16	19	20	20	25	25	22
平均幹材積(m ³ /本)	0.26	0.32	0.70	0.63	0.82	0.79	1.00	0.70
立木密度(本/ha)	2,180	1,640	1,000	1,200	800	1,240	800	900
	間伐	間伐	間伐	間伐	間伐	間伐	主伐	主伐
	定性	定性	定性	定性	定性	定性	皆伐	皆伐
伐採木平均胸高直径(cm)	15	20	26	19	29	26	30	28
伐採木平均樹高(m)	16	15	16	17	19	19	23	22
伐採木平均幹材積(m ³ /本)	0.16	0.25	0.4	0.25	0.59	0.55	0.89	0.71
本数間伐率(%)	35	25	30	42	25	33	-	-
材積間伐率(%)	22	20	17	16	18	23	-	-
伐採材積(m ³ /ha)	122.0	102.9	120.0	125.0	118.0	227.1	711.2	641.2
搬出材積(m ³ /ha)	112.2	90.6		95.6		141.4	638.7	472.6
搬出率(%)	92.0	88.0		79.0		62.3	89.8	73.7

*道路沿いの奥行き短い林分のため直接道路脇に集積

表－5 チェーンソー伐倒造材作業のサイクルタイムの比較^{4, 5)}

	那須塩原市森林組合			那須町森林組合		
	調査地①	調査地②	調査地③	中傾斜地	緩傾斜地	
選木・足場作り・移動	56" (12.4)	29" (5.0)	1'05" (15.3)	51" (17.3)	14" (25.7)	
受け口	10" (2.2)	20" (3.4)	26" (6.1)	17" (5.6)	12" (22.8)	
心切り	- (-)	- (-)	- (-)	5" (1.7)	- (-)	
追い口	23" (5.1)	29" (5.0)	38" (9.0)	29" (9.7)	15" (27.1)	
くさび打ち	- (-)	20" (3.4)	15" (3.5)	16" (5.2)	4" (7.7)	
退避	- (-)	- (-)	- (-)	9" (3.1)	6" (10.1)	
かかり木処理	2'55" (38.6)	- (-)	5" (1.2)	- (-)	2" (3.2)	
切り株	- (-)	- (-)	- (-)	11" (3.7)	- (-)	
伐倒作業	4'24" (58.3)	1'38" (16.8)	2'29" (35.1)	2'17" (46.4)	53" (96.6)	
枝払い・玉切	3'09" (41.7)	8'07" (83.2)	4'36" (64.9)	9" (3.1)	- (-)	
材長計測	- (-)	- (-)	- (-)	4" (1.2)	- (-)	
造材作業	3'09" (41.7)	8'07" (83.2)	4'36" (64.9)	13" (4.4)	- (-)	
待機時間	- (-)	- (-)	- (-)	2'26" (49.2)	2" (3.4)	
合計	7'33" (100.0)	9'45" (100.0)	7'05" (100.0)	4'56" (100.0)	55" (100.0)	
測定サイクル数(本)	7	5	19	57	41	
観測時間(秒)	1,687	2,915	-	16,849	2,044	
平均幹材積(m ³ /本)	0.21	0.46	0.47	0.93	0.70	
伐倒生産性(m ³ /人時)	2.86	19.90	11.36	11.83	45.82	
平均素材材積(m ³ /本)	0.12	0.42	0.33	0.83	0.53	
伐倒生産性(m ³ /人時)	-	-	-	10.58	34.54	
造材生産性(m ³ /人時)	2.29	3.11	4.30	4.28	-	
生産性(m ³ /人時)	0.83	0.37	1.35	10.13	-	

3.1.1 チェーンソー伐倒造材作業

チェーンソーによる伐倒造材作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表－3に示す。中傾斜地の観測時間は4月2日(2時間34分40秒)と6日(2時間6分9秒)、計4時間40分49秒(16,849秒)である。

2日の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム6分11秒、平均幹材積1.00m³/本より、生産性は8.73m³/人時であった。立木の伐倒後、伐倒した材の幹折れを防ぎ、木寄せ作業をスムーズに行うために切り株の角を伐り落とす処理が毎回行われ、要素作業では「切り株」に分類した。

6日の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム3分57秒、平均幹材積0.88m³/本より、生産性は12.07m³/人時であった。なお、6日の時間観測中にプロセッサでの造材が困難な大径材(胸高直径40cm程度以上)は、チェーンソーにより2玉程度、プロセッサの前に造材作業が行われた。チェーンソーによる造材作業を除いた場合の平均サイクルタイムは3分33秒、生産性は13.27m³/人時である。

2日と6日のチェーンソー伐倒造材作業の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム4分56秒、平均幹材積0.93m³/本より、生産性は10.13m³/人時であった。2つの平均サイクルタイムに大きな差があるが、これは2日の調査時に最大3.0mm/時の降雨があり、安全性などへの配慮から生じたものと考えられる。なお、チェーンソーによる造材作業を除いた場合の平均サイクルタイムは4分43秒、生産性は10.58m³/人時である。

比較対象とした間伐作業地^{4,5)}と本調査地それぞれの林分条件および作業条件を表－4に、それぞれの調査地におけるチェーンソー伐倒造材作業のサイクルタイムを表－5に示す。

緩傾斜地の観測時間は34分4秒(2,044秒)だった。中傾斜地では胸高直径40cm程度以上の径級の大きな材についてチェーンソーによる造材が行われたが、緩傾斜地では見られなかった。また、緩傾斜地ではグラップルの木寄せ作業のために作業道側が元口となるように伐倒が行われたことからかかり木が生じていた。中傾斜地の「選木・足場作り・移動」が緩傾斜地の3.6倍と大きい、傾斜が急であることから移動に時間がかかること、作業道のある谷側に倒していたことから、選木の際、幹折れが起こらないよう伐倒方向に気を遣っていたことなどが理由として考えられる。また、中傾斜地の胸高直径が大きいことから受け口や心切り、追い口といった要素のサイクルタイムが緩傾斜地と比べて大きくなっている。また、中傾斜地ではグラップルとの連携作業が行われており、連携作業により生じる待機時間の項目が最も大きな割合を占めたが、緩傾斜地では連携作業を行っていないため、待機時間が発生しなかった。

間伐作業と比較すると皆伐作業を行うことで必要となる要素作業は径級が大きくなることに伴い必要となる「心切り」であるが、逆に皆伐作業では一定の方向に伐り倒すためかかり木が生じにくい。間伐作業では一部プロセッサが入れない場所の材をチェーンソーで造材し、サイクルタイムのおよそ半分を占めた。中傾斜地ではチェーンソーによる造材作業は胸高直径40cm程度以上の大

径材の元玉から2番玉までに限られていたため、間伐地と比較して効率よく造材作業が行われていたが、グラップルとの連携作業であることから生産性は同程度となった。チェーンソーによる伐倒時間は、緩傾斜地が最も短いサイクルタイムとなっており、次に調査地②、中傾斜地となっており、間伐作業と比較して皆伐作業は短い時間で伐倒作業が行われたことがわかる。中傾斜地については傾斜が急であることから安全に配慮し、移動に時間を要したものと考えられる。

3.1.2 グラップル集積作業

グラップルによる集積作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表－6に示す。中傾斜地の観測時間は4月4日(1時間12分5秒)と6日(2時間13分45秒)、計3時間25分50秒(12,350秒)である。

表－6 グラップルによる1サイクルあたりの集積作業時間と占有率(%)

	4月4日	4月6日	合計
木寄	50" (26.7)	58" (21.6)	55" (23.4)
植積み	26" (13.8)	25" (9.2)	25" (10.8)
枝条整理	5" (2.7)	20" (7.5)	14" (5.8)
走行	58" (30.7)	1'02" (23.3)	1'00" (25.9)
造材補助	- (-)	22" (8.3)	13" (5.4)
待機時間	49" (26.1)	1'21" (30.2)	1'07" (28.8)
合計	3'09" (100.0)	4'28" (100.0)	3'53" (100.0)
測定サイクル数(本)	23	30	53
平均幹材積(m ³ /本)	0.78	0.88	0.83
生産性(m ³ /人時)	14.88	11.83	12.77
平均素材材積(m ³ /本)	0.70	0.79	0.74
生産性(m ³ /人時)	13.36	10.63	11.47

4日の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム3分9秒、平均幹材積0.78m³/本より、生産性は14.88m³/人時であった。

6日の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム4分28秒、平均幹材積0.88m³/本より、生産性は11.83m³/人時であった。なお、6日の時間観測中においてはプロセッサでの造材が困難な大径材(胸高直径40cm程度以上)について、チェーンソーによる造材作業が行われ、グラップルは造材補助を行った。グラップルによる造材補助作業を除いた場合の平均サイクルタイムは4分6秒、生産性は12.87m³/人時である。

4日と6日のグラップルによる集積作業の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム3分53秒、平均幹材積0.83m³/本より、生産性は12.77m³/人時であった。なお、グラップルによる造材補助作業を除いた場合の平均サイクルタイムは3分41秒、生産性は13.52m³/人時である。

4日と比較して6日についてサイクルタイムが長いのは造材補助作業が行われたこと、6日は天候が悪く霧の中での作業であったため、安全性を配慮し注意して作業が行われたことが理由として考えられる。「木寄」および「植積み」を行っていない時間で林地残材の整理である「枝条整理」が行われたが、これは皆伐後に必要となる造林のための地拵えも兼ねていると考えられる。

他の調査地^{4,5)}との生産性の比較結果を表－7に示す。なお、調査地①、②が短幹集積で、調査地③、④および中傾斜地、緩傾斜地が全木集積である。皆伐作業の

生産性の高さが確認できる。

表－7 グラップル集積作業の生産性^{4、5)}

調査地	那須塩原市森林組合			那須町森林組合		
	①	②	③	④ 中傾斜地	緩傾斜地	
幹材積当たり 生産性(m ³ /人時)	-	-	5.19	4.36	12.77	35.83
素材材積当たり 生産性(m ³ /人時)	8.64	1.81	-	-	11.47	26.51

3.1.3 プロセッサ造材作業

プロセッサによる造材作業の時間観測により得られたサイクルタイムを表－8に示す。中傾斜地の観測時間は4月4日(1時間2分20秒)と8日(2時間37分28秒)、計3時間39分48秒(13,188秒)である。

4日の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム2分47秒、平均丸太材積0.112m³/玉、平均採材玉数6.05玉/本より、生産性は15.95m³/人時であった。観測中に造材された材の割合は、一般材が46.41%、杭材が5.98%、ラミナ材が18.36%、パルプ材が11.82%、残材が17.43%であった。

8日の時間観測結果より、伐採木1本あたりの平均サイクルタイム3分34秒、平均丸太材積0.130m³/玉、平均採材玉数7.09玉/本より、生産性は13.52m³/人時であった。観測中に造材された材の割合は、一般材が39.20%、杭材が2.58%、ラミナ材が29.68%、パルプ材が21.49%、残材が7.05%であった。

4日と8日のプロセッサによる時間観測結果より、伐

表－8 プロセッサによる1サイクルあたりの造材作業時間と占有率(%)

	4月4日		4月8日		合計
材掘み	8" (5.1)	17" (7.8)	14" (7.0)		
枝払い・玉切	1'19" (47.2)	1'32" (43.1)	1'28" (44.3)		
末木処理	11" (6.3)	9" (4.2)	10" (4.8)		
桟積み	1'09" (41.5)	1'26" (40.2)	1'21" (40.6)		
待機時間	- (-)	10" (4.6)	7" (3.3)		
合計	2'47" (100.0)	3'34" (100.0)	3'19" (100.0)		
測定サイクル数(本)	22	44	66		
平均丸太材積(m ³ /玉)	0.112	0.130	0.124		
平均玉数(玉/本)	6.05	7.09	6.74		
平均素材材積(m ³ /本)	0.74	0.80	0.78		
造材歩留まり(%)	82.57	92.95	89.80		
生産性(m ³ /人時)	15.95	13.52	14.20		

採木1本あたりの平均サイクルタイム3分19秒、平均丸太材積0.124m³/玉、平均採材玉数6.74玉/本より、生産性は14.20m³/人時であった。造材された材の割合は、一般材が41.38%、杭材が3.61%、ラミナ材が26.25%、パルプ材が18.56%、残材が10.20%であった(表－2)。

それぞれの調査地^{4、5)}におけるプロセッサ造材作業のサイクルタイムを表－9に示す。

緩傾斜地の観測時間は1時間16分17秒(4,577秒)だった。中傾斜地と緩傾斜地では造材後の丸太を種類ごとに並べる桟積みの要素作業時間が大きく異なるが、中傾斜地では基幹となる作業道沿いで造材作業を行っていたことから、種類別に桟積みを行う際にアームの長さよりも遠い桟へ積む場合、機体を移動する必要があったが、緩傾斜地では皆伐作業後の十分な広さの林地で作業を行い、造材の際に機械の前にそのまま丸太を積んでいたことが要因として考えられる。桟積み作業は間伐作業と比較しても大きな値となっており、間伐作業のデータが不足しているため詳しい比較はできないが、中傾斜地の素材材積が大きいことから桟積みを行う丸太の数が多いこと、丸太材積が大きく一度に掴める丸太の本数が少ないことなどが原因として考えられる。また、枝払い・玉切のサイクルタイムも間伐作業と比較して大きな値となっているが、これも中傾斜地の材積が大きいことから時間が多くかかったものと考えられる。

3.1.4 フォワード搬出作業

フォワードによる搬出作業の時間観測により得られた

表－10 フォワードによる1サイクルあたりの搬出作業時間と占有率(%)

	4月4日		4月8日		合計
空走行	10'45" (25.1)	4'54" (16.4)	7'24" (20.9)		
積込み	10'10" (23.8)	8'49" (29.6)	9'24" (26.5)		
積み込み移動	- (-)	12" (0.7)	12" (0.6)		
実走行	7'46" (18.2)	6'31" (21.9)	7'03" (19.9)		
荷下ろし	8'17" (19.4)	6'41" (22.4)	7'22" (20.8)		
末口計測	1'21" (3.2)	1'06" (3.7)	1'13" (3.4)		
待機時間	4'28" (10.4)	1'36" (5.4)	2'50" (8.0)		
合計	42'48" (100.0)	29'44" (100.0)	35'27" (100.0)		
測定サイクル数(回)	3	4	7		
平均積載量(m ³ /回)	4.91	4.43	4.64		
平均搬出距離(m)	892.70	632.01	743.73		
平均空車速度(m/秒)	1.40	1.82	1.61		
平均実車速度(m/秒)	1.93	1.72	1.81		
生産性(m ³ /人時)	6.89	8.91	7.84		

表－9 プロセッサ造材作業のサイクルタイムの比較^{4、5)}

	那須町森林組合			
	調査地③	調査地④	中傾斜地	緩傾斜地
移動	6" (3.4)	- (-)	- (-)	- (-)
材掘み	20" (11.4)	22" (14.2)	14" (7.0)	10" (10.0)
枝払い・玉切	1'04" (36.6)	51" (33.1)	1'28" (44.3)	49" (49.4)
末木処理	22" (12.6)	16" (10.5)	10" (4.8)	9" (8.8)
桟積み	1'03" (36.0)	1'05" (42.2)	1'21" (40.6)	27" (26.7)
待機時間	- (-)	- (-)	7" (3.3)	5" (5.0)
合計	2'55" (100.0)	2'34" (100.0)	3'19" (100.0)	1'40" (100.0)
測定サイクル数(本)	32	59	66	46
観測時間(秒)	-	-	13,188	4,577
平均丸太材積(m ³ /玉)	-	-	0.12	0.08
平均玉数(玉/本)	-	-	6.74	6.96
平均素材材積(m ³ /本)	0.59	0.45	0.78	0.53
造材歩留まり(%)	79.0	-	89.8	73.7
生産性(m ³ /人時)	12.14	10.52	14.20	19.00

サイクルタイムを表－10に示す。中傾斜地の観測時間4月4日(2時間26分33秒)と8日(2時間10分47秒)、計4時間37分20秒(16,640秒)である。

4日の時間観測結果より、平均搬出距離は892.70mであり、平均サイクルタイム42分48秒、平均積載量4.91m³/回より、生産性は6.89m³/人時であった。中傾斜地では直送を行うため、フォワーダの作業員により搬出した一般材および杭材、ラミナ材の末口径が計測された。重量で取引を行うパルプ材については検尺が行われなかった。また、中傾斜地については、土場から中傾斜地までの空走行時に上り坂、中傾斜地から土場までの実走行時に下り坂となっており、空車速度よりも実車速度の方が速かった。

8日の時間観測結果より、平均搬出距離は632.01mであり、平均サイクルタイム29分44秒、平均積載量4.43m³/回より、生産性は8.91m³/人時であった。

4日と8日のフォワーダ搬出作業の時間観測結果より、平均搬出距離が743.73mであり、平均サイクルタイム35分27秒、平均積載量4.64m³/回より、生産性は7.84m³/人時であった。4日と8日の平均サイクルタイムに大きな差があるが、これは4日の搬出距離が長いことや、大型の機械であるプロセッサやグラブとすれ違いのため、低速での走行および待機時間が生じたことが影響したと考えられる。

それぞれの調査地^{4,5)}におけるフォワーダ搬出作業のサイクルタイムを表－11に示す。

緩傾斜地の観測時間は2時間15分22秒(8,122秒)だった。中傾斜地と比較して、緩傾斜地は搬出距離が短いことから高い生産性となっている。中傾斜地の生産性が調査地③、④と比較して低い値となっているが、これは

積載材積が同程度であるのに対して搬出距離が2倍近い距離であることから、空車移動と実車移動の要素作業が大きくなったこと、また、直送を行うため、重量で取引を行うパルプ材以外の末口径の計測作業が行われたことが理由として考えられる。

3.1.4 グラブ付バケット

4月4日に中傾斜地でグラブ付バケットによる作業道作設の時間観測を行った。観測時間は1時間34分28秒(5,668秒)であり、作設距離は29mであることから生産性は18.42m³/人時であった(表－12)。また、調査地の作業道作設距離139.64m、出材量638.65 m³/ha、作業面積0.77haより、m³あたりの生産性は64.54m³/人時と求められる。

中傾斜地に関して現場の作業員によると、黒ボク土の下に石があるために伐根の根起しが容易であり、普段の作業の半分程度の時間で行うことができるとのことだった。また、幅員2.0mの既設作業道の拡幅によるもので、那須町森林組合への聞き取りより、拡幅の生産性は新規作設の2倍である。なお、幅員3.5mの既設作業道を修繕する場合、生産性は新規作設の5倍程度である。

3.1.5 作業システム

中傾斜地について、作業システム全体のサイクルタイムは1,125秒/本、生産性は2.55m³/人時、1人1日あたりの生産性は15.33m³/人日である(表－13)。また、緩傾斜地については作業システムのサイクルタイム449秒/本、生産性4.25m³/人時、1日1人あたりの生産性25.48m³/人日である。

生産性は、2008年皆伐作業の全国平均4.00m³/人日¹⁴⁾、

表－11 フォワーダ搬出作業のサイクルタイムの比較^{4,5)}

	那須塩原市森林組合		那須町森林組合			
	調査地①	調査地③	調査地④	中傾斜地	緩傾斜地	
空走行	1'26" (4.7)	2'12" (8.9)	4'37" (15.6)	7'24" (20.9)	4'34" (14.1)	
積込み・荷下ろし準備	8'34" (27.9)	1'32" (6.2)	51" (2.9)	- (-)	- (-)	
積込み	9'13" (30.0)	10'30" (42.3)	10'13" (34.6)	9'24" (26.5)	10'11" (31.5)	
積込み移動	4'39" (15.1)	1'21" (5.4)	36" (2.0)	12" (0.6)	- (-)	
実走行	1'37" (5.3)	1'47" (7.2)	5'08" (17.3)	7'03" (19.9)	5'29" (17.0)	
荷下ろし	5'15" (17.1)	7'28" (30.1)	8'10" (27.6)	7'22" (20.8)	5'37" (17.4)	
末口計測	- (-)	- (-)	- (-)	1'13" (3.4)	- (-)	
待機時間	- (-)	- (-)	- (-)	2'50" (8.0)	6'28" (20.0)	
合計	30'44" (100.0)	24'50" (100.0)	29'33" (100.0)	35'27" (100.0)	32'19" (100.0)	
測定サイクル数(回)	3	6	2	7	4	
平均積載量(m ³ /回)	2.48	4.34	4.52	4.64	4.64	
平均搬出距離(m)	166.90	155.20	403.30	743.73	473.45	
平均空車速度(m/秒)	1.84	1.24	1.44	1.61	1.77	
平均実車速度(m/秒)	1.81	1.39	1.35	1.81	1.42	
生産性(m ³ /人時)	4.84	10.56	9.22	7.84	8.61	

表－12 グラブ付バケットによる
1mあたりの作業道作設時間と占有率(%)

支障木処理	1'15" (38.5)
掘削	35" (18.0)
伐根処理	30" (15.5)
土落とし	7" (3.7)
整地	17" (8.6)
走行	7" (3.4)
材移動	22" (11.0)
待機時間	2" (1.1)
合計	3'15" (100.0)
伐根処理数(本)	30
観測作設距離(m)	29
生産性(m/人時)	18.42
サイクルタイム(秒/本)	45
生産性(m ³ /人時)	64.54

表－13 既往の間伐作業⁵⁾との生産性の比較

	那須塩原市森林組合			那須町森林組合		
調査地	①	②	③	④	中傾斜地	緩傾斜地
選木 (m ³ /人時)	10.18	7.70	-	-	-	-
作業道作設 (m ³ /人時)	-	-	5.19	13.42	64.54	-
伐倒造材 (m ³ /人時)	0.83	0.37	1.35	1.56	5.91	12.26
集積 (m ³ /人時)	8.64	1.81	5.19	4.36	11.47	26.51
搬出 (m ³ /人時)	6.48	-	4.86	5.29	7.84	8.61
合計 (m ³ /人時)	0.64	0.30	0.75	0.88	2.55	4.25
日当り (m ³ /人日)	3.83	1.78	4.50	5.29	15.33	25.48

高性能林業機械を導入している皆伐作業 5.26m³/人日¹⁴⁾、2009 年皆伐作業の全国平均 4.76m³/人日¹⁵⁾と比較しても非常に高い値である。また、林野庁の低コストで効率的な素材生産を行っている林業事業体の活動事例報告では、栃木県内の 2006 年 8～12m³/人日¹²⁾、2009 年 7～8m³/人日¹³⁾、2011 年にたかはら森林組合で試験的に行われた皆伐作業の 10.02～13.59m³/人日¹⁹⁾と比べても高い生産性であることがわかる。また、今回の中傾斜地の生産性は 10 年後の目標として示されている 11～13m³/人日¹⁵⁾を達成している。

中傾斜地の伐採木平均幹材積は 0.89 m³/本であり、比較的、伐採木平均幹材積が大きい調査地④の 0.55 m³/本と比べて 1.6 倍であるが、生産性は 2.9 倍であり、林分条件、作業条件を考慮してもなお、高い結果が得られた(表-13)。特に、かかり木がなく、作業スペースも広く取れるため、伐倒造材作業の生産性は高い。皆伐作業の生産性は間伐の 1.7 倍との報告²⁰⁾もあるように、間伐と比較しても高い生産性が得られた。

なお、那須塩原市森林組合の作業では伐倒作業と造材作業を分けることが困難であったため、本研究の結果もチェーンソーとプロセッサを合わせて伐倒造材作業の生産性とした。また、那須塩原市森林組合の作業では職員により事前に選木が行われているが、那須町森林組合では選木は作業員に任されている。那須塩原市森林組合、那須町森林組合ともに間伐作業では事前にプロット調査を行うが、那須町森林組合では皆伐作業に関しては、正確に材積を把握するために毎木調査を行っている。そのため、プロット調査を行うよりも時間がある程度、

多くかかると考えられるが、その時間は作業時間に比べて微小である。

3.2 コスト分析

以上で求めた生産性より、主作業費を算出した(表-14)。また、今回の試算に用いた機械経費を表-15¹⁰⁾に示す。労務経費については 2,550 円/人時³⁾を使用した。なお、比較対象とした間伐作業⁵⁾についても表-15の機械経費および労務経費 2,550 円/人時³⁾を用い、条件を統一して示した。

また、その他費用として運搬費、手数料、桝積料、機械運搬費、諸経費を算出し、主作業費とその他費用を含めた支出を算出した。運搬費は共販所に搬出される一般材と杭材については 1,300 円/m³、ラミナ材とパルプ材については土場渡しのため計上しなかった。組合手数料として木材売上額の 5%、市場手数料として一般材と杭材の売上合計額の 5%、桝積料 700 円/m³、機械運搬費 5,000 円/台、諸経費として直接費の 20%²³⁾を計上した。

なお、木材の売上額については精算結果が得られていないため、那須町森林組合より得た事業費精算に係わる基礎資料⁶⁾を参考に木材の種類別に単価を計上し木材売上額を推定した。総売り上げの試算結果を表-16に示す。

従来通り共販所へ運搬した場合、中傾斜地において支出は 4,499 円/m³、直送を行い全ての材を山土場渡しと仮定した場合、支出は 3,238 円/m³となり、運搬費や県森連の市場手数料および桝積料が計上されないこと

表-14 既往の研究⁵⁾との支出(円/m³)の比較

調査地	那須塩原市森林組合			那須町森林組合		
	①	②	③	④	中傾斜地	緩傾斜地
選木	128	169	-	-	-	-
作業道作設	-	-	1,145	443	118	-
伐倒造材	2,063	4,614	2,003	1,447	808	349
集積	301	1,436	1,095	1,303	640	423
搬出	734	-	993	913	786	845
小計	3,226	6,219	5,236	4,106	2,352	1,617
その他	1,126	3,422	4,116	3,319	2,147	2,393
合計	4,352	9,641	9,352	7,425	4,499	4,010

表-15 機械経費

機械	機械 価格 (千円)	耐用 年数 (年)	稼働 時間 (時/年)	償却 費率	保守 修理 比率	年間 管理 費率	燃料・ 油脂費 (円/台時)	機械 経費 (円/台時)
グラップル付バケット	18,000	6.0	1,200	0.9	0.40	0.065	871	5,096
チェーンソー	136.8	3.0	1,350	0.9	0.85	0.065	64	130
グラップルローダ	18,100	6.0	1,200	0.9	0.26	0.051	960	4,645
プロセッサ	19,000	6.0	1,080	0.9	0.39	0.047	871	5,480
フォワーダ	9,000	6.0	780	0.9	0.42	0.046	720	3,789
ミニグラップルローダ	3,960	7.5	1,080	0.9	0.40	0.090	336	1,302
林内作業車	2,910	5.0	1,620	0.9	0.96	0.065	48	833

燃料・油脂費およびチェーンソーの機械価格は聞き取りより得た。
機械経費の諸元は日本森林技術協会(10)より引用した。

表-16 既往の研究⁵⁾との収支の比較

	那須塩原市森林組合			那須町森林組合		
	①	②	③	④	中傾斜地	緩傾斜地
一般材	売上材積 (m ³)	7.9	30.2	546.9	2914.4	225.5
	売上金額 (円)	71,618	147,642	6,960,512	30,320,707	2,493,709
	売上単価 (円/m ³)	9,066	4,889	12,727	10,404	11,061
杭材	売上材積 (m ³)	3.7	3	8.2	129.1	20
	売上金額 (円)	35,480	25,320	74,220	1,237,820	46,928
	売上単価 (円/m ³)	9,589	8,440	9,051	9,588	2,386
ラミナ材	売上材積 (m ³)	-	-	39.2	388.9	143.0
	売上金額 (円)	-	-	438,190	1,822,310	715,134
	売上単価 (円/m ³)	-	-	11,178	4,686	5,000
パルプ材	売上材積 (m ³)	130.9	13	12.7	348.3	101.1
	売上金額 (円)	392,700	39,000	48,427	1,677,658	303,331
	売上単価 (円/m ³)	3,000	3,000	3,813	4,817	3,000
合計	売上材積 (m ³)	142.5	46.2	607	3780.6	489.3
	売上金額 (円)	499,798	211,962	7,521,349	35,058,495	3,559,102
	売上単価 (円/m ³)	3,507	4,588	12,391	9,273	7,275
支出	(円)	620,191	445,428	5,676,906	28,070,623	2,201,333
	(円/m ³)	4,352	9,641	9,352	7,425	4,499
	(円)	-120,393	-233,466	1,844,443	6,987,872	1,357,770
収支	(円)	-845	-5,053	3,039	1,848	2,775
	(円/m ³)	-845	-5,053	3,039	1,848	2,775
	(円/m ³)	-845	-5,053	3,039	1,848	2,775

で 1,262 円 /m³ の支出の削減が見込まれる。同様に緩傾斜地についても試算を行った結果、従来通り共販所へ運搬した場合、支出は 4,010 円 /m³、直送を行い全ての材を山土場渡しと仮定した場合、支出は 2,427 円 /m³ となり、運搬費や共販所の市場手数料および積積料が計上されないことで 1,583 円 /m³ の支出の削減が見込まれる。したがって、直送を広く進めることにより、2 者協定で必要となる 1,000 円 /m³ 以上の支出の削減を達成することができ、皆伐作業により生産量が増加し、皆伐後の再造林も担保され、資源の循環利用につながるとともに、森林所有者への還元額も増加する。

生産性と同様、今回の皆伐作業の主作業費が優位な結果となり、間伐作業と比較してコストの低減が示された。これらの支出は 2008 年全国の皆伐作業の生産コスト 6,342 円 /m³、高性能林業機械を用いた皆伐作業の生産コスト 5,162 円 /m³ と比較しても、低い生産コストであることがわかる¹⁴⁾。また、栃木県内の低コストで素材生産を行っている林業事業体の活動事例では 2006 年 4,300 円 /m³ 程度、緩傾斜地で 3,500 円 /m³ 程度、急傾斜地で 4,000 円 /m³ 程度¹²⁾、2009 年 4,000 ～ 6,000 円 /m³ と報告されており、¹³⁾ 今回の調査地についても同程度であり、低コストで素材生産が行われているものと考えられる。

3.3 採算性

従来型作業地である調査地①、②では、収支がそれぞれ -845 円 /m³、-5,053 円 /m³ とマイナスになったが、機械化作業地である調査地③、④、中傾斜地、緩傾斜地ではそれぞれ 3,039 円 /m³、1,848 円 /m³、2,775 円 /m³、4,925 円 /m³ と収支プラスとなった（表-16）。中傾斜地では、売上単価が 7,275 円 /m³ と機械化間伐地である調査地③、④と比べて低いものの、支出が 4,499 円 /m³ と低いため、収支は機械化間伐地と同程度、緩傾斜地では売上単価

が 8,935 円 /m³、支出が 4,010 円 /m³ より、収支が最も高い結果となった。

皆伐後に必要となる再造林費用として 2,555,100 円 /ha¹¹⁾、造林補助金として 1,250,000 円 /ha^{7,8)} を加えると図-3 で示される。なお、皆伐後の再造林費用および造林補助金は成林までに必要と考えられる 1 年目の地拵えおよび植付、また、植付後 7 年間の下刈り、15 年目の除伐までとした。これを面積あたりで表すと図-4 で示される。中傾斜地、緩傾斜地ともに収支はプラスとなり、持続的な林業経営が可能である。

4. おわりに

今回の那須町森林組合への作業調査・分析より、皆伐作業により生産性が向上し、間伐作業と比較して生産コストが低減することが示された。皆伐作業については、中傾斜地よりも条件のよい緩傾斜地の生産性が高い。今回は 2 作業地の調査であったが、さらに他の作業地についても調査を行い、今後の皆伐作業に資する地形や林況を考慮したサイクルタイム、生産性、コスト計算式を作成する予定である。

ただし、中傾斜地では胸高直径 40cm 程度以上の材についてはチェーンソーによる造材作業を行っており、間伐作業時よりも材の径級が大きくなることでプロセッサの造材能力を超えることにより、造材作業の生産性の低下が予想された。今後、チェーンソー造材とプロセッサ造材の生産性、コストを比較した上で、効率的な造材方式について検討する必要がある。なお、海外においても、最大取扱径以下でのプロセッサ造材作業でも生産性が低下することが報告されている²¹⁾。また、この地域では、0.7m³ クラス（車重 17 ～ 20 トン）ベースのプロセッサは用いられていないが、今後、導入を検討する場合には幅員 3.5m 以上で、車体重量を支えられる堅固な路面の作業道が必要となるため、作業道を作設する場合には注意を要する。

皆伐後、従来のように共販所へ持ち込むのではなく製材所に直送を行うため、フォワード搬出では重量で取引を行うパルプ材以外の末口径が計測されたが、プロセッサ造材の際にオペレーターが採材に用いている末口径と材長の情報を 1 小班分蓄積してデータとして用いることができれば、さらなる生産性の向上と生産材積の正確さが担保されるものと考えられる。

また、直送を加味した場合の支出についても試算し、2 者協定の可能性を検討した。その結果、直送を広く進めることにより、2 者協定で必要となる 1,000 円 /m³ 以上の支出の削減を達成することができ、皆伐作業により生産量が増加し、皆伐後の再造林も担保され、資源の循環利用につながるとともに、森林所有者への還元額も増加することが示唆された。さらに、15 年目までの再造林費用も試算したが、中傾斜地、緩傾斜地ともに収支はプラスとなり、持続的な林業経営が可能である。ただし、地位や地利が低い林分に関しては収支がマイナスとなると考えられるため、このような林分では今後、間伐時期・回数や主伐時期などの施業方針の検討、針広混交林化、広葉樹林化などを検討する必要がある。

中傾斜地では、グラップルにより木寄および積積みを

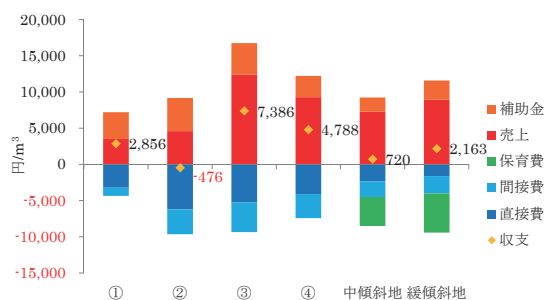


図-3 再造林費用と補助金を考慮した場合の収支（円 /m³）

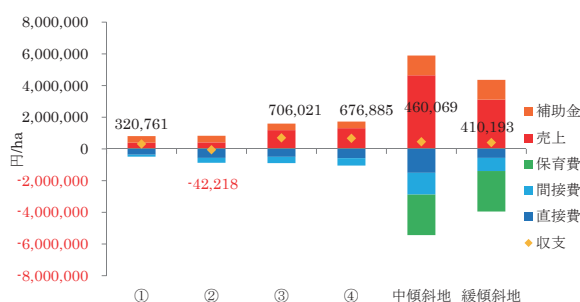


図-4 再造林費用と補助金を考慮した場合の収支（円 /ha）

行っていない時間で枝条整理が行われたが、これは地拵えも兼ねており、人力で行う地拵えよりも効率よく作業が行われ、皆伐作業時にもグラップルの待機時間が少なくなるものと考えられる。今回調査を行った中傾斜地では地拵えをグラップルで行い、栃木県において補助率が 100%である少花粉スギを用いて再造林が行われた。

現在、九州を中心に低コスト再造林に取り組み、コンテナ苗を用いた皆伐再造林の一貫作業が試行されている¹⁸⁾。那須町森林組合でもコンテナ苗の植栽を平成 26 年度から試行する。すでに皆伐作業中にグラップルにより地拵えが行われていることから、植栽時期を選ばず、活着の良いとされるコンテナ苗の利用が実用化されれば、コンテナ苗を用いた皆伐再造林の一貫作業で試行されている、皆伐作業後にフォワーダでコンテナ苗を運搬し、植栽することがこの地域でも可能となり、さらなる再造林費用の低減、長期的な林業収支の向上が期待される。

現在の森林作業は間伐作業がメインとなっていることから、本来は適季ではない夏季にも間伐作業を行っているところも多いが、皆伐再造林を行うことで 7 年程度は下刈りを行う必要があるため、材質および材価の関係から伐採作業の少なくなる夏季に、財源を確保した上での安定した仕事の確保につながるのではないかと考えられる。高知県において下刈りを毎年ではなく隔年とした場合、極端な成長や形質の低下が生じることなく、毎年行う場合と比較して費用を 34% 削減できると報告されている¹⁸⁾。しかし、高知県とは気候が異なり、雑木および林木の成長速度が異なることが予想されるため、栃木県においても、下刈りを省力化した場合の林木の成長や下刈りにかかる経費を調査する必要がある。

また、実際に 2 者および 3 者協定により皆伐後の下刈り費用が担保されるのか、皆伐作業により生産量が増加し、一時的には森林所有者への還元額も増加するが、将来的な森林所有者への還元額については不明であるため、これらの点について継続して調査を行う必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたり、ご協力頂いた林業事業体の方々、森林科学科学生諸氏に謝意を表します。なお、本研究は J S P S 科研費 24580213, 15H04508 の助成を受けたものである。

引用文献

- 1) 舟木徹・杉原雅彦 (2012) スギ人工林で行われた主伐の作業システムと生産性。島根県中山間地域研究センター研究報告 8: 129 ~ 132.
- 2) 水庭諄子・有賀一広・仲畑力 (2014) 那須町森林組合における皆伐作業の生産性・コスト分析。関東森林研究 65: 197 ~ 200.
- 3) 仲畑力・有賀一広・武井裕太郎・山口鈴子・斎藤仁志・金築佳奈江 (2013) 那須野ヶ原地域の間伐材搬出作業における最適搬出率の検討。森林学誌 28: 17 ~ 28.
- 4) 仲畑力・有賀一広・斎藤仁志・伊藤要・村上文美・金築佳奈江・前田由紀恵 (2010) 那須野ヶ原地域における間伐材搬出作業の機械化による生産性・コスト改善の可能性－現状の作業分析から－。宇大演報 46: 19 ~ 26.
- 5) 仲畑力・有賀一広・武井裕太郎・山口鈴子・伊藤要・村上文美・斎藤仁志・田坂聡明・金築佳奈江 (2011) 那須野ヶ原地域における間伐材搬出作業の機械化による生産性・コスト改善の可能性 (II)－従来型作業と機械化作業の比較分析から－。宇大演報 47: 27 ~ 34.
- 6) 那須町森林組合 (2012) 事業費精算に係わる基礎資料。業務資料 (非公開)。
- 7) 那須町森林組合 (2012) 三者協定による植付・下刈等保育事業計画書 (那須町 20 林班サ 15・16 小班)。業務資料 (非公開)。
- 8) 那須町森林組合 (2012) 平成 24 年度那須町森林組合除間伐・枝打ち・間伐見積書。業務資料 (非公開)。
- 9) 日本林業調査会 (2014) 林政ニュース 第 477 号: 18 ~ 19.
- 10) 日本森林技術協会 (2010) 低コスト作業システム構築事業報告書。268pp, 日本森林技術協会, 東京。
- 11) 大野英克 (2012) 森林資源フル活用に向けた取り組み。森林利用学会シンポジウム発表資料。
- 12) 林野庁 (2006) 平成 18 年度林業機械化推進事例の紹介。オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/h18jirei.html>)。2014 年 2 月 10 日参照。
- 13) 林野庁 (2009) 平成 21 年度林業機械化推進事例の紹介。オンライン, (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/H21girei.html>)。2014 年 2 月 10 日参照。
- 14) 林野庁 (2010) 森林・林業白書 平成 22 年度版。145pp, 全国林業改良普及協会, 東京。
- 15) 林野庁 (2012) 森林・林業白書 平成 24 年度版。208pp, 全国林業改良普及協会, 東京。
- 16) 埼玉県農林部森づくり課 (2013) 埼玉県の林業概要と機械化の取り組み。機械化林業 719: 7 ~ 10.
- 17) 下野新聞 2014 年 2 月 3 日朝刊, 民有林皆伐に栃木県が新たな助成方針。
- 18) 森林総合研究所 (2013) 低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集。オンライン, (<http://www.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/3rd-chukiseika7.pdf>) 45pp, 森林総合研究所。2014 年 2 月 10 日参照。
- 19) たかはら森林組合 (2013) 高性能林業機械及び小面積皆伐事業研修会資料。9pp, 2013 年 12 月 20 日。
- 20) 栃木県林業センター (2013) 素材の安定供給に向けた生産量の拡大および木質バイオマス利用促進に資する高効率・低コストな伐採および施業方法の解明。平成 24 年度業務報告, 栃木県。
- 21) VISSER, R. and SPINELLI, R. (2012) Determining the shape of the productivity function for mechanized felling and felling-processing. J. For. Res. 17: 397-402.
- 22) 矢野幸一 (2013) 栃木県県北地域の林業再生に向けた取り組みについて。森林学誌 28: 59 ~ 65.
- 23) 全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネジメント。239pp, 全国林業改良普及協会, 東京。